

Comunicaciones Espaciales

Lanzaderas Espaciales

Fernando D. Quesada Pereira¹

¹Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena

15 de octubre de 2010

Índice de Contenidos

- 1 Movimiento en el espacio
- 2 Etapas y puesta en órbita
- 3 Motores de propulsión
- 4 Lazamiento en órbitas GEO
- 5 Lanzamientos a otros tipos de órbitas
- 6 Lanzaderas
 - Tipos de lanzaderas
- 7 Lugares de lanzamiento
- 8 Lanzaderas Europeas

Movimientos en el espacio

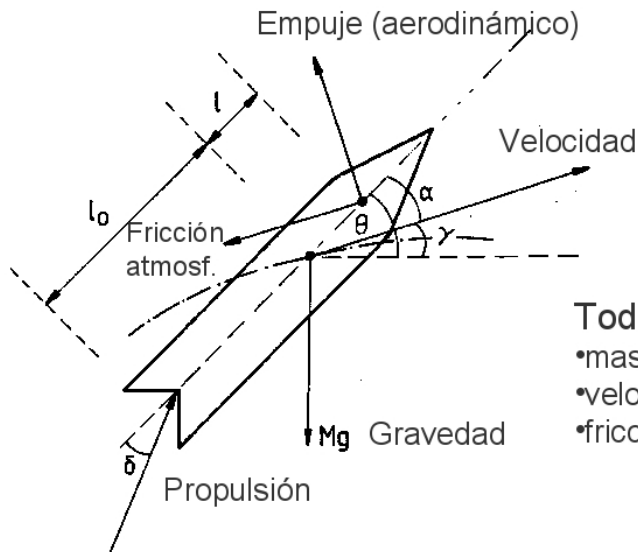
- En el espacio no hay prácticamente materia (no hay aire), ni puntos de apoyo.
 - El desplazamiento se produce mediante **motores de propulsión** que expelen gases a grandes velocidades (por conservación de la cantidad de movimiento el cohete viaja en sentido contrario).
 - Las **turbinas y las hélices no sirven**, ya que no hay un medio viscoso sobre el que se sustenten.
- **Lanzamiento complicado** ya que intervienen en **diversos factores variables**:

Condiciones de Lanzamiento

- La **masa de la lanzadera** es variable (es menor al aumentar la altura).
 - La **atracción gravitatoria** terrestre disminuye con la altura.
 - La **fricción atmosférica** también disminuye con la altura.
 - El **empuje aerodinámico** depende de la trayectoria y de la forma del cohete.
 - La **velocidad de la lanzadera** es variable y crece con la altura.
- El **mayor empuje** se emplea para realizar el **despegue**.

Dinámica del lanzamiento

Se utilizan complejos simuladores



Todo es variable:

- masa
- velocidad
- fricción

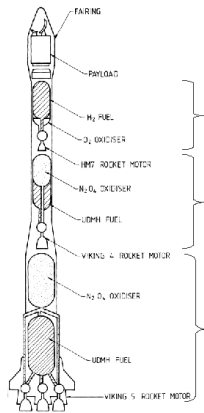
Lanzamiento por etapas

Ejemplo: Ariane IV

Generalmente, la estructura de una lanzadera es por **etapas**, de esta forma se **consume menos combustible** en el lanzamiento al deshacerse de las partes inservibles y reducir la masa.



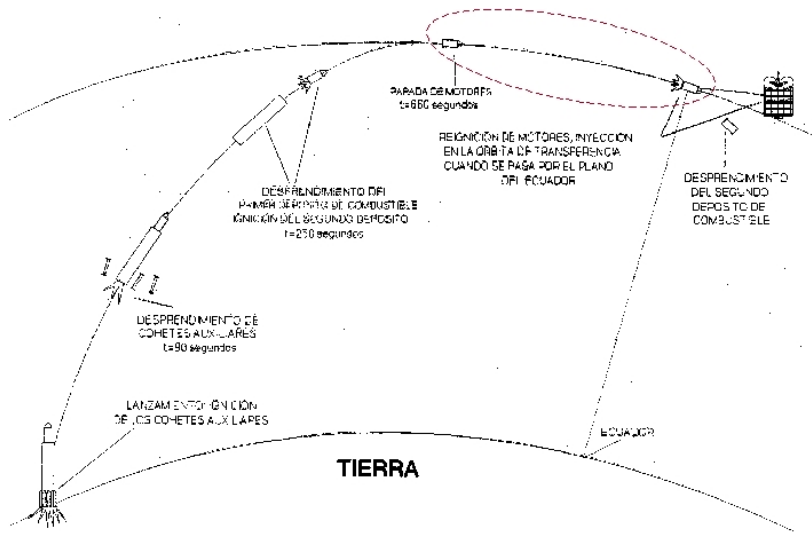
Motor sin tanques de combustible



Ejemplo de lanzadera de 3 etapas

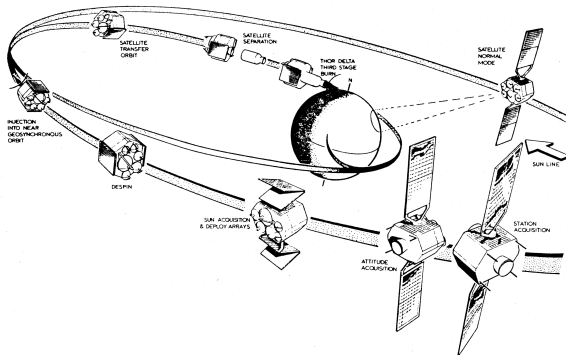
Ejemplo de puesta en órbita

Motor de tres etapas con vuelo balístico



Ejemplo de puesta en órbita para GEO

Proceso LEOP (*Low Earth OPeration and orbit injection*)



Distintos momentos

- 1 En el **apogeo** se activa el **motor de ignición AKM** (*Apogee Kick Motor*).
- 2 En un proceso de *Despin* se elimina la rotación del satélite
- 3 Adquisición solar (despliegue de los paneles), de **estabilización** y de estación terrestre.

Motores de propulsión

Clasificación

Se utilizan para el **lanzamiento**, **correcciones orbitales** y **estabilización**.

- Son situaciones muy diferentes.
- Se define el **empuje** y el **impulso específico** (eficiencia de combustible).

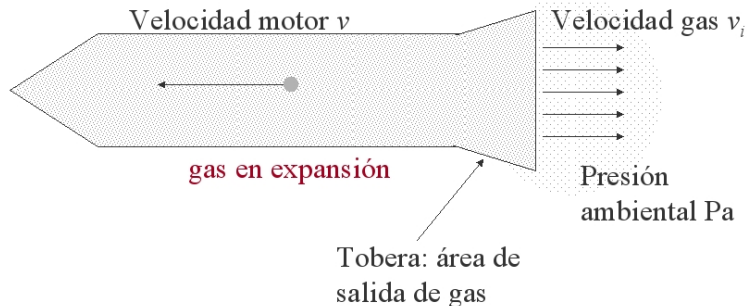
Tipos de motores

- **Motores químicos**: Expulsan moléculas de gas a gran velocidad.
 - **Monopropelentes** (combustible y catalizador) o **bipropelentes** (combustible y oxidante).
 - Líquidos, sólidos o híbridos según el estado del combustible.
- **Motores iónicos**: Expulsan iones acelerados por un campo eléctrico (la velocidad aumenta).
 - No se utilizan en la fase de lanzamiento.
 - Proporcionan **más eficiencia** de combustible, pero **menos empuje**.
- **Otros tipos**: **Nucleares** (sondas de exploración), **electrotérmicos** (Iridium), **Solares** (en desarrollo, ej. velas solares).

Motores

Funcionamiento básico (conservación de la cantidad de movimiento)

Cámara de combustión a presión P_e



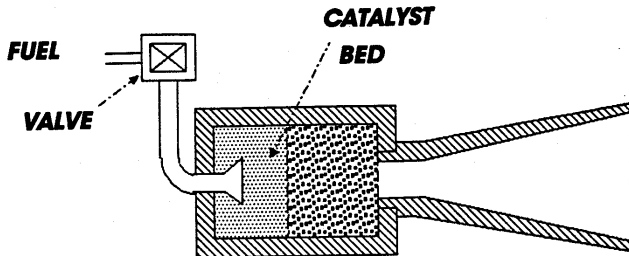
Incremento de velocidad Δv del cohete

$$\Delta v = v_i \log \frac{M_0}{M_0 - \Delta M}$$

Motores de tipo monopropelente

Características

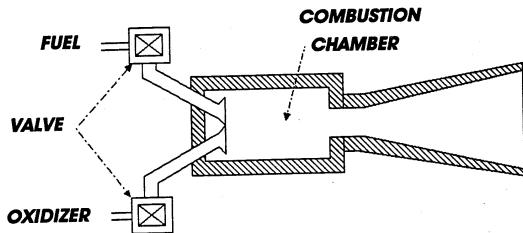
- Se utiliza **combustible y catalizador**.
- Presentan **poco empuje** (fuerza, N), y **poco impulso** (tiempo, s).
- Como **ejemplo** se tiene la hidracina (impulso 230 s) o el peróxido de hidrógeno (180 s).



Motores de tipo bipropelente

Características

- Los hay por **contacto** (hipergólicos) o con **mecanismo de ignición**.
- Con **bombas** y **válvulas** se consigue máximo control de la operación, ajuste del empuje y capacidad de reencendido.
- Producen **mayor impulso** y **menor empuje** que los de combustible sólido
- Se requieren tanques de **combustible** y **oxidante** (más masa).



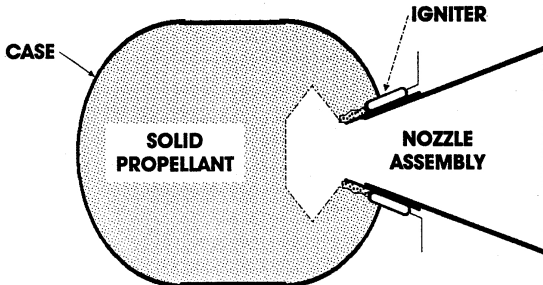
Ejemplos

- N_2O_4 y Amoníaco (NH_3) (238 s).
- N_2O_4 y Hidracina (N_2H_4) (254 s).
- O_2 líquido y H_2 (347 s).
- O_3 ozono y H_2 (375 s).

Motores de combustible sólido

Características

- Se tiene una mezcla de **combustible** y **partículas de oxidante** en estado **sólido**.
- **Más empuje** y **menos impulso** que los **bipropelentes**.
- Son motores de **una sola ignición** (mecanismo pirotécnico).
- Como **ejemplo** se tiene el *AKM Apogee kick motor* o *solid boosters* en lanzamiento.

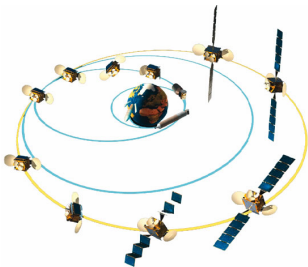


Lanzamientos en órbitas GEO

Procedimientos (órbita habitual más costosa de alcanzar)

Lanzamiento de tipo Hohmann

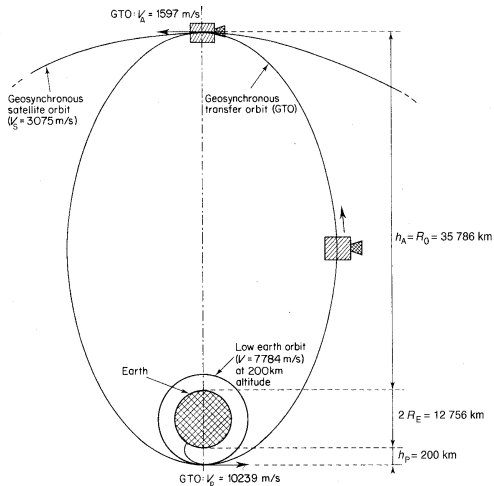
- Se pasa por una **órbita elíptica intermedia** (*Geostationary Transfer Orbit* o GTO), es el mecanismo **menos costoso energéticamente**.
- Necesita **dos incrementos de velocidad** puntuales.



Tres estrategias según el lanzador

- Se deja en **LEO** o *parking orbit* (realizado por el Shuttle).
- Se deja en **GTO** (la mayoría de lanzadores), el satélite debe realizar un incremento puntual mediante el AKM. Se requieren dos órbitas como media.
- Se deja en **GEO directamente** (Protón o Titán III), como contrapartida la **masa debe ser menor** que en el resto de casos.

Esquema de un lanzamiento a órbita GEO de tipo Hohmann

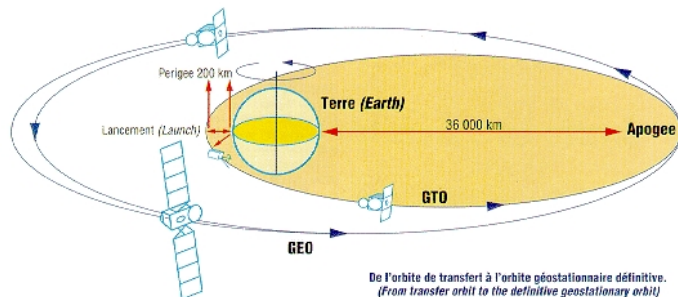


Fases

- 1 Órbita LEO.
- 2 Encendido motor y paso a GTO.
- 3 Encendido motor y paso a GEO en apogeo.

Esquema de un lanzamiento a órbita GEO de tipo Hohmann

Paso de la órbita GTO a GEO



[Ref.-Maral, 2002]

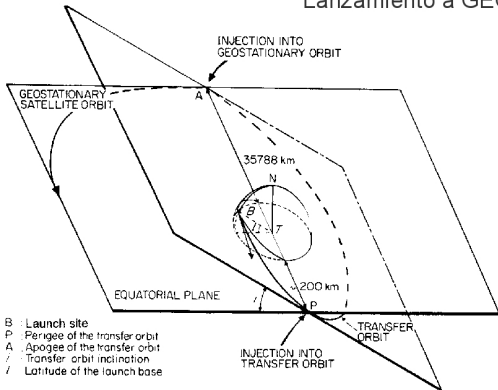
Lanzamiento a órbita GEO de tipo Hohmann

Lanzamiento desde latitudes diferentes a la del ecuador

Corrección Adicional

Si no se lanza desde el ecuador se ha de **corregir la inclinación** de la órbita GTO para pasar a GEO.

Lanzamiento a GEO



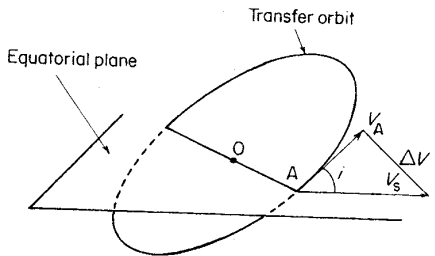
[Ref.-Maral, 2002]

Lanzamiento a GEO

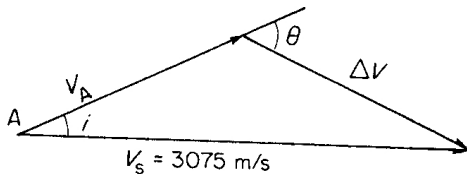
Corrección de la inclinación de la órbita

Corrección inclinación

- La corrección de la inclinación de GEO es **mayor** si se lanza desde **latitudes elevadas**.
- La **corrección en velocidad** también es **mayor**.



[Ref.-Maral, 2002]



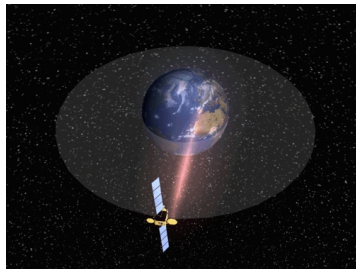
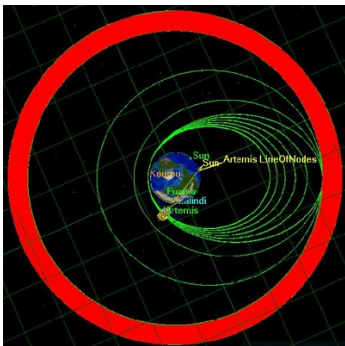
[Ref.-Maral, 2002]

Lanzamiento a GEO

Ejemplo de estrategia de impulso continuado: Artemis (*Advanced Relay TEchnology MISsion*)

Características

- **Fallo** en la **última etapa** del Ariane V (no se llegó a la GTO).
- Plan de **recuperación** con cuatro **motores iónicos** (no pensados para eso).
- Desde julio de 2001 a febrero de 2003, el satélite **Ártemis** alcanzó la órbita final.



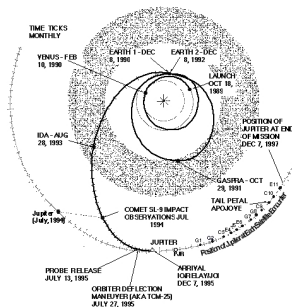
Lanzamiento a otros tipos de órbitas

Órbitas bajas (LEO)

- Polares o inclinadas.
- Con distinto acimut, no tienen que ser hacia el Este.
- Se mandan **directamente a la órbita** deseada en ocasiones.
- Cuestan 6000 Euros por Kilogramo.

Órbitas de Escape

- Se utilizan en las **sondas de exploración planetaria**.
- Utilizan la **asistencia gravitatoria** de otros planetas para coger impulso y ahorrar combustible

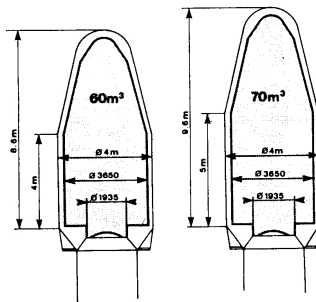


Órbita de escape de la sonda **Galileo** en su camino a Júpiter

Requisitos de las lanzaderas

Características

- La carga se debe adaptar en masa y volumen a las **cofias** de los lanzadores disponibles.
- Los **lanzamientos a órbita baja** de satélites pequeños se efectúan de manera **múltiple** para ahorrar dinero.



Índice de Contenidos

- 1 Movimiento en el espacio
- 2 Etapas y puesta en órbita
- 3 Motores de propulsión
- 4 Lazamiento en órbitas GEO
- 5 Lanzamientos a otros tipos de órbitas
- 6 Lanzaderas**
 - Tipos de lanzaderas
- 7 Lugares de lanzamiento
- 8 Lanzaderas Europeas

Tipos de lanzaderas

Dependiendo del **peso y tamaño** de la carga

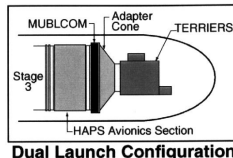
- **Carga pesada** (20 TM a LEO, 6 TM a GTO, o 4 TM a GEO). Por ejemplo cohete protón ruso.
- **Carga media o ligera** (menos de 20 TM a LEO o MEO). Por ejemplo, avión Pegasus con lazamiento desde el aire.

Dependiendo de la **utilización**

- **Reutilizables**, como el *Space Shuttle*, realizan un aterrizaje suave y se reutilizan casi todos sus componentes.
- **Desechables**: casi todas las piezas se pierden y se deben construir nuevamente para el siguiente lanzamiento.



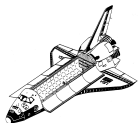
Avión B-52 modificado de la empresa Orbital para lanzar pequeños satélites.



Acomodo del satélite en la lanzadera Pegasus.

Tipos de lanzaderas

Según el tipo de uso (reutilizables o desechables)



STS (Shuttle (único que ha funcionado), Buran, Hermes)

- Son recuperables (en la actualidad sólo quedan 3).
- Son tripulados (hasta 7 astronautas).
- Menor aceleración, vibración, etc. . . .
- Requieren mayor seguridad en la carga.
- Dejan al satélite en LEO o parking orbit: pueden repararlo en LEO.
- Desde el desastre del *Challenger* no colocan satélites comerciales.

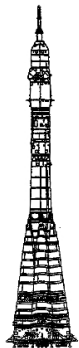
ELV (el resto de lanzaderas)

- El aterrizaje de la cápsula tripulada (Soyuz), si existe, es duro.
- Son no reutilizables.
- Peores condiciones de aceleración, vibración, etc. . .
- No son tan estrictos en seguridad para la carga.
- No pasan por *parking orbit*, dejan la carga en GTO.

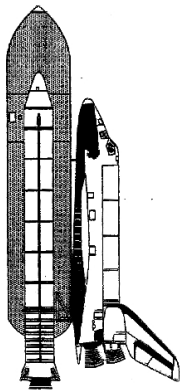


Comparación de las distintas naves tripuladas

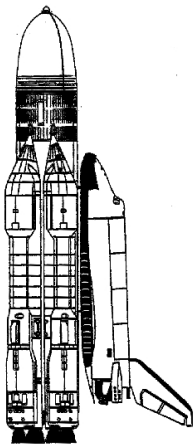
Rusia, Estados Unidos y China



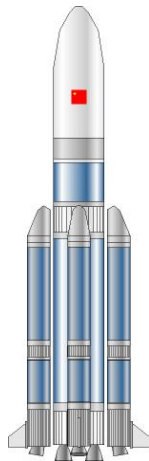
SOYUZ



SHUTTLE



(BURAN, cancelada)



Cohete Larga Marcha
Chino (Shenzhou)



Proyecto de vehículo reusable soviético **BURAN**

Vida Efímera

Sólo realizó un **vuelo orbital de prueba** no tripulado en 1988. El programa **se suspendió en 1993** por falta de presupuesto y por la inestabilidad política de la extinta Unión Soviética.



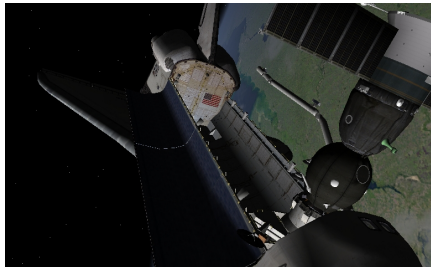
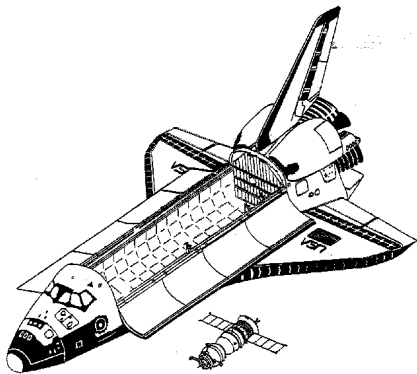
Aparato de pruebas aerodinámicas
Buran.



Buran con el lanzador Energía.

Comparación entre naves tripuladas

Soyuz y Space Shuttle



El Space Shuttle es mucho mayor que la Soyuz (sólo tres tripulantes).

STS Shuttle

Transbordador Espacial Norteamericano

- Es un programa bastante **antiguo**, en funcionamiento desde 1981.
- En 2010, al finalizar la construcción de la ISS, **se sustituirá** por un nuevo vehículo tripulado más barato y fiable.
- Ha tenido **problemas de seguridad**, habiéndose perdido dos naves.



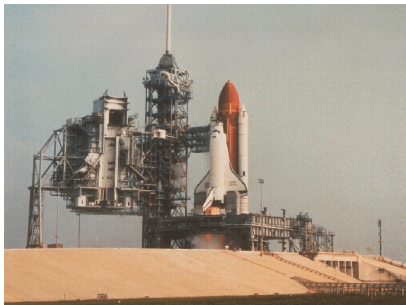
Transbordadores

- Enterprise (vehículo de pruebas suborbital)
- Challenger (se perdió en el despegue)
- Columbia (se perdió en la reentrada)
- Endeavour (operativo para construir la ISS)
- Atlantis (operativo para construir la ISS)
- Discovery (operativo para construir la ISS)



STS Shuttle

Imágenes de la lanzadera en Cabo Cañaberal en Florida



STS Shuttle

Desastre del Challenger en 1986

- El transbordador **explotó** al poco de despegar (73 segundos).
- **Falló una junta tórica** de su cohete impulsor derecho en su estanqueidad.



STS Shuttle

Desastre del Columbia en 2003

Un **desprendimiento de la espuma** que recubre el tanque de combustible golpeó las **losetas de aislamiento térmico** del transbordador. Durante la reentrada el transbordador **se desintegró**.

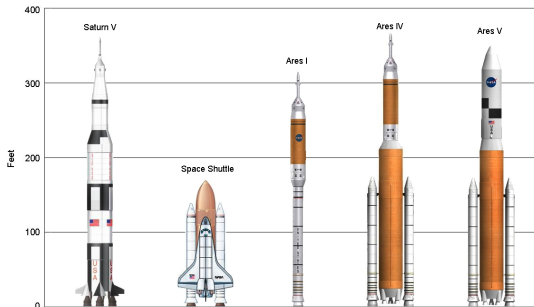


Sustitución del Shuttle

Ares I

Características

- Dentro del proyecto **Constelación**.
- Se encargará de los **vuelos tripulados** a partir de 2016.
- Proyecto para la vuelta a la Luna y viaje a Marte.
- Transportará el módulo **Orion**.
- Primer **vuelo en pruebas** en octubre de 2009.
- Existen **problemas presupuestarios** en la NASA.
- Ares IV y V para carga.

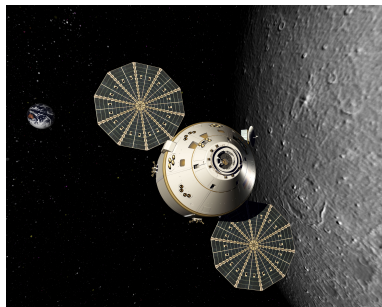


Vuelta a la Luna

Módulo Orion

Características

- Primer vuelo tripulado para el 2016. Inspirado en el proyecto Apollo.
- Naves de cuatro a seis tripulantes.
- Vuelta a la **Luna** en 2020.
- Parcialmente reutilizable.



Situación de los puertos espaciales



- | | | | |
|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 1 - Vandenberg | 7 - Hammaguir | 12 - Palmachim | 17 - Xichang |
| 2 - Edwards | 8 - Torrejon | 13 - San Marco | 18 - Taiyuan |
| 3 - Wallops Island | 9 - Andoya | 14 - Baikonur | 19 - Svobodny |
| 4 - Cape Canaveral | 10 - Plesetsk | 15 - Sriharikota | 20 - Kagoshima |
| 5 - Kourou | 11 - Kapustin Yar | 16 - Jiuquan | 21 - Tanegashima |
| 6 - Alcántara | | | 22 - Woomera |

Enclaves de lanzamiento

Lanzamiento a GEO

Características GEO

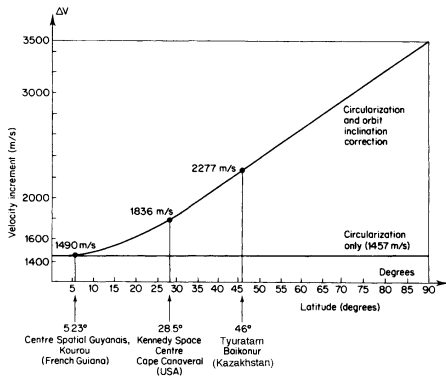
- El lanzamiento a GEO se realiza **hacia el Este** para aprovechar la rotación de la Tierra, y cerca de lugares despejados o deshabitados por la seguridad de la población (mar, Siberia).
- Se lanza **hacia el Ecuador** (desde el Hemisferio Norte el lanzamiento será hacia el Sur)
- **Otras órbitas** pueden utilizar **otras direcciones** de lanzamiento.

Importancia de la latitud

- A **menor latitud**, menor incremento de velocidad para alcanzar la órbita GEO, luego **más masa dedicada a carga** del satélite.
- En el **Ecuador**, se maximiza la masa de satélite, si ésta se dedica a llevar más combustible para la corrección de órbita, **mayor vida útil** del satélite.
- Se han desarrollado sistemas de **lanzamiento desde plataformas** petrolíferas adaptadas (terreno despejado y desde el Ecuador). Por ejemplo, ISL International Sea Launch o lanzaderas Zenith rusas.

Influencia en lanzamientos a GEO de la posición del enclave

Se necesita un **mayor incremento de velocidad** al aumentar la **latitud**. Lo óptimo es lanzar desde el ecuador.



[Ref.-Maral, 2002]

Lanzaderas Europeas

Ariane

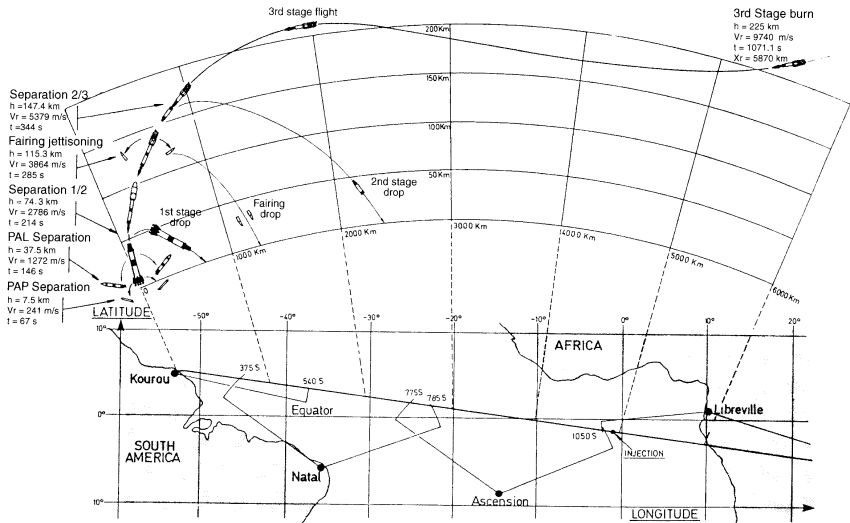
- La ESA es la responsable del desarrollo de las lanzaderas **Ariane**. Una vez desarrolladas, su explotación se realiza por **Arianespace**.
- **Kourou**, en la Guyana francesa, es el puerto espacial de Europa y uno de los factores del éxito comercial es que ocupa una posición privilegiada **cerca del ecuador**.
 - Ofrece una ganancia en peso útil.
 - Alarga la vida del satélite.
 - No es necesaria etapa de vuelo balístico para llegar a GTO.
 - La capacidad de lanzamiento es de 10 lanzamientos al año.
- **Ariane 4** supuso un gran éxito comercial y de baja tasa de fallo con distintas versiones modulares y tipos de cofia. Realizan más del **60 % del mercado en lanzamientos comerciales**.
- **Ariane 5** es la sucesora de Ariane 4 junto con Vega. Ha tenido **fracasos importantes en la primera etapa** de desarrollo.



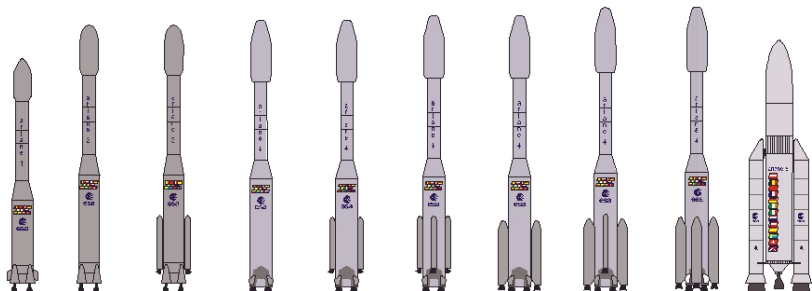
Base de Kourou

Lanzamiento a GTO desde Kourou

El proceso de lanzamiento dura 18 minutos.



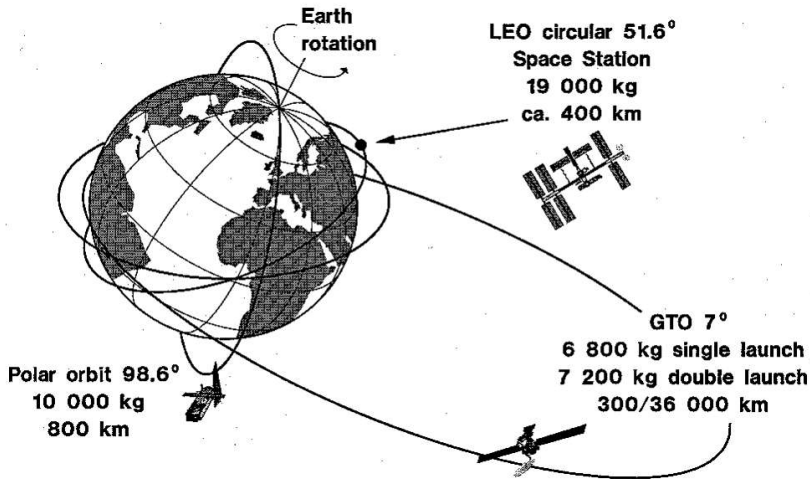
Familia de lanzaderas Ariane



| | | | | | | | | | | |
|----------|----------|------------------------------|---------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------------|----------|
| 1980 | 1986 | 1984 | 1988 | 1988 | 1988 | 1988 | 1988 | 1988 | 1988 | 1997 |
| Ariane 1 | Ariane 2 | Ariane 3 | Ariane 4 (40) | Ariane 4 (42P) | Ariane 4 (44P) | Ariane 4 (42L) | Ariane 4 (44LP) | Ariane 4 (44L) | Ariane 4 (44L) | Ariane 5 |
| 1835 kg* | 2275 kg* | 2650 kg* 2 solid boosters | 2005 kg* | 2760 kg* 2 solid boosters | 3270 kg* 4 solid boosters | 3360 kg* 2 liquid boosters | 4050 kg* 2 solid boosters +2 liquid boosters | 4510 kg* 4 liquid boosters | 6800 kg* 18000 kg in low orbit | |

* Payload mass in geostationary transfer orbit

Tipos de órbita para el Ariane V



Lanzamiento del Ariane V



Lanzamiento del Ariane V

Fases



Lanzamiento del Ariane V

Centro de operaciones



Lanzaderas por países

Europa

- Ariane V y Vega para lanzamiento a LEO.
- Lanzamiento de satélites comerciales, científicos y experimentales en GEO, a la ISS y a órbitas heliosíncronas.
- Etapa criogénica: 156 TM (126 de O_2 líquido y 30 de H_2) y 2 Propulsores de propelente sólido.

Estados Unidos

- Titán (Mc Donnell Douglas), Delta (Lockheed Martin), Atlas Centauro (General Dynamics).
- STS (gubernamental).

Rusia

- Soyuz, Protón, Zenith, Cosmos, Rockot, Angara.
- **Japón:** serie N (patente Delta), H-II.
- **China:** (Long March).

Ejemplos de lanzaderas ligeras

Plataformas petrolíferas y Pegasus



Pegasus

ISL Zenith

Lanzaderas pesadas actuales



Delta IV



Titan IV



Proton



Ariane V

Ascensor Espacial

Un método alternativo para colocar satélites en órbita geostacionaria

P. ¿Es usted igual de crítico con la NASA que Buzz Aldrin?

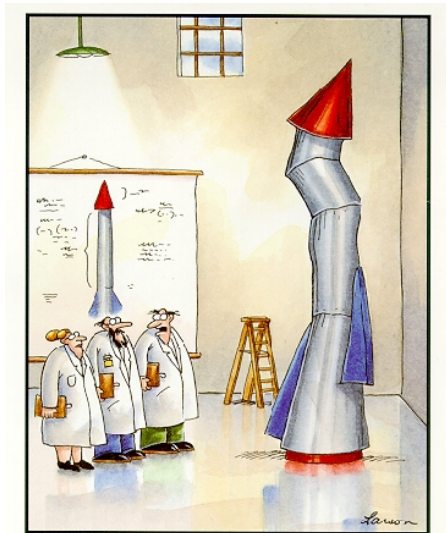
R. Yo no critico a la NASA, porque es la esclava del Congreso. De hecho, la NASA ha creado ahora un Instituto de Conceptos Avanzados. Está estudiando todo tipo de locuras, incluida mi favorita, el ascensor espacial. Se trata de una idea deliciosamente simple: construir un ascensor desde el Ecuador hasta un satélite geostacionario. Las cargas ascienden y descienden por electricidad.

Lo bueno del ascensor espacial es que haría que los viajes espaciales costaran calderilla.

La electricidad necesaria para elevarte en el espacio cuesta unas 52.000 pesetas. Un viaje de ida y vuelta costaría unas 10.000, porque en el viaje hacia abajo se recupera la mayor parte de la energía. He dicho en repetidas ocasiones que el principal coste del viaje espacial en el futuro serían las comidas y las películas, no el combustible. Y, por supuesto, el considerable interés sobre los miles de millones que cuesta construir el chisme.



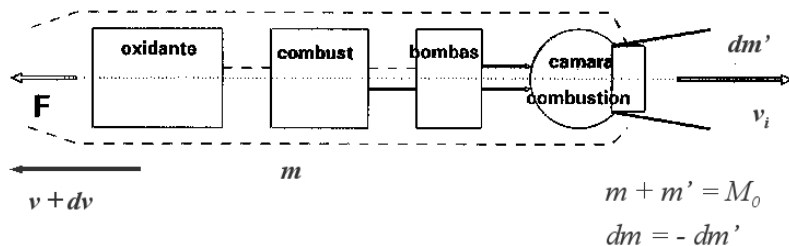
Poner un satélite en órbita no es una tarea sencilla



"It's time we face reality, my friends. ...
We're not exactly rocket scientists."

Conservación del momento en motores

Física del lanzamiento de un cohete

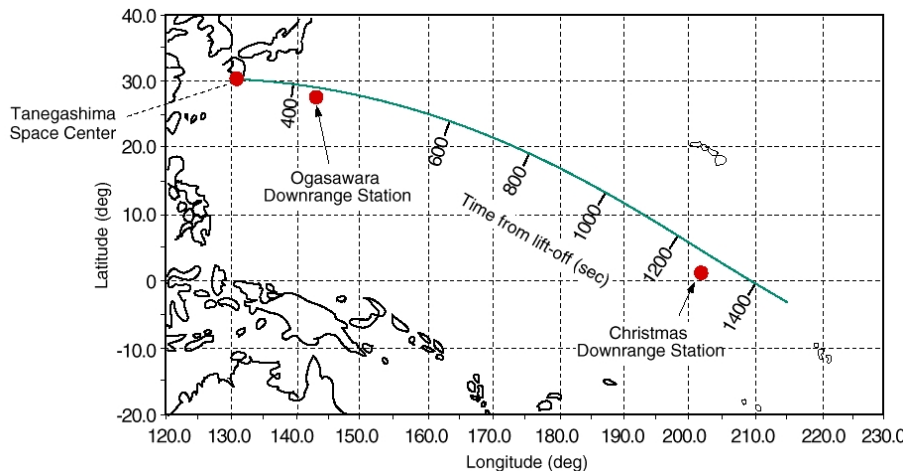


$$m(v + dv) + (v - v_i)dm' = (m + dm')v$$
$$mv + mdv + vdm' - vdm' = mv + vdm'$$
$$mdv - vdm' = 0 \rightarrow dv = -v_i \frac{dm}{m}$$

$$\int_{v_1}^{v_1 + \Delta v} dv = \int_{M_0 - \Delta M}^{M_0} -v_i \frac{dm}{m} \rightarrow \Delta v = v_i \log \frac{M_0}{M_0 - \Delta M}$$

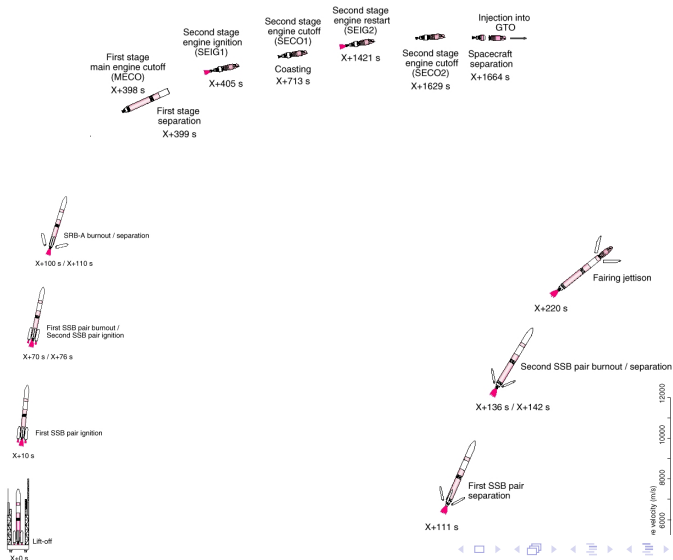
Lanzamiento el H – 2 japoneses de la NASDA

Ejemplo de lanzamiento (hacia el este)



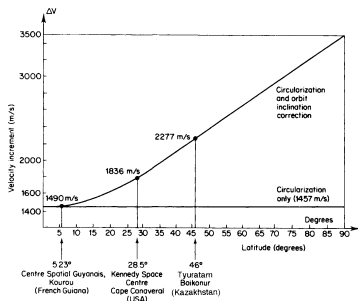
Lanzamiento el *H* – 2 japoneses de la NASDA

Ejemplo de lanzamiento (etapas)

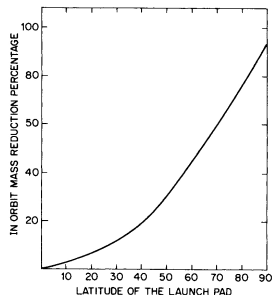


Influencia del enclave en lanzamientos a GEO

A **menor latitud** se necesita un menor incremento de velocidad para alcanzar la órbita GEO, por lo que se tiene **más masa dedicada a carga de satélite**. En el Ecuador, se consigue la máxima masa de satélite, si ésta se dedica a llevar más combustible para la corrección de órbita, la **vida útil** del satélite es **mayor**.



[Ref.-Maral, 2002]

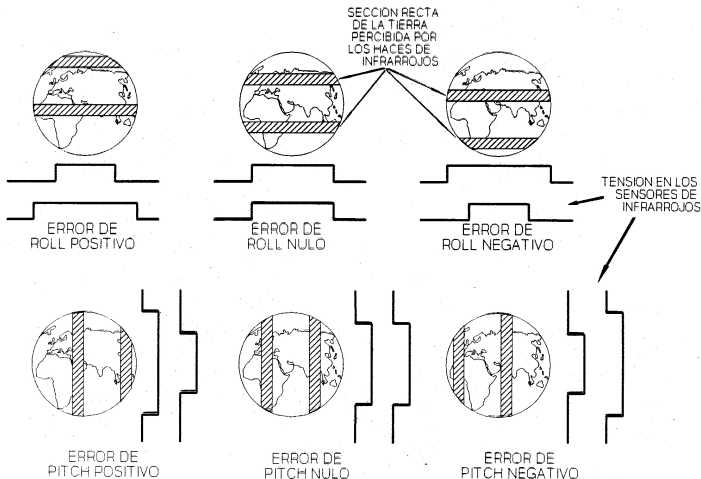


[Ref.-Maral, 2002]

Estabilización de tres ejes

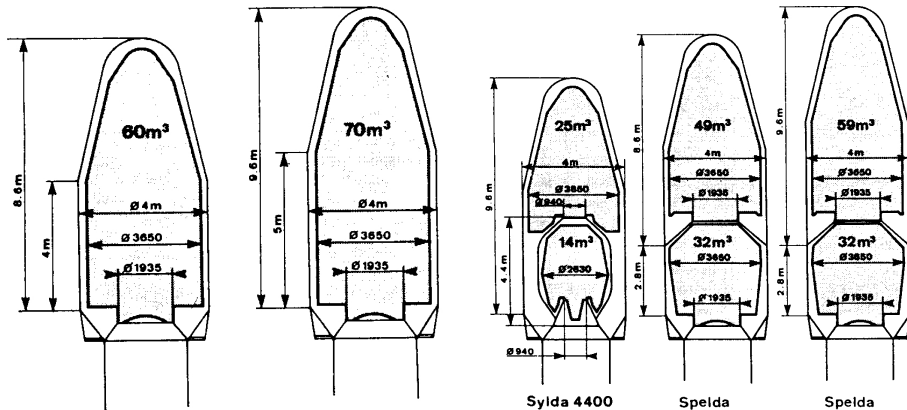
Una vez que el cohete se inserta en órbita se estabiliza

Se utilizan sensores más complicados que utilizan las estrellas como referencia o usan infrarrojos.



Lanzaderas europeas

Cofia del Ariane IV



Referencias de las figuras

-  M. Richharia.
Satellite Communication Systems, Second Edition.
McGraw-Hill Telecommunications, 1999.
-  D. Roddy.
Satellite Communication, Third Edition.
McGraw-Hill Telecommunications, 2001.
-  G. Maral y M. Bousquet.
Satellite Communication Systems, Fourth Edition.
Wiley, 2002.
-  T. Pratt, C. Bostian y J. Allmutt.
Satellite Communication, Second Edition.
John Wiley & Sons, 2003.